

# プレストレスト コンクリートに用いられる コンクリートの品質について

山 田 順 治

最近ようやくプレストレスト コンクリートの真価が一般に認められ、各方面に使用されるようになり、その需要も一段と伸びていることは、誠に喜ばしい限りである。しかし、このプレストレスト コンクリートの長足の発展の割合には、プレストレスト コンクリートに用いられるコンクリートの品質については、まだまだ明らかにされていない点が多く、今後の実験研究にまたなければならぬ点が少ない。これらの二、三の点について述べてみたい。

## 1. セメントについて

まずセメントであるが、現在わが国ではプレストレスト コンクリートには、プレテンション方式とポストテンション方式とを問わず、いずれも型わく回転使用のため早期に取りはずしたいので、ほとんどが早強ポルトランドセメントを使用している。欧米でも早く型わくをはずしたいときには早強ポルトランドセメントを使っているが、そうでない場合には普通ポルトランドセメントはもちろん、中庸熟ポルトランドセメントなども使われているようである。

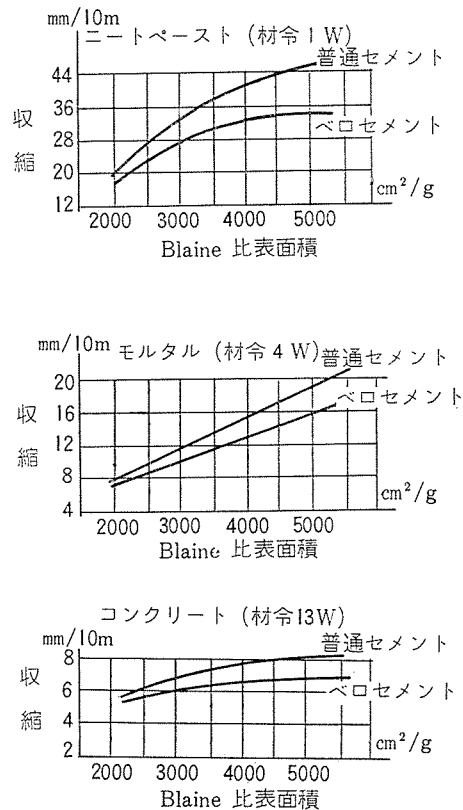
AASHO (American Association of State Highway Officials) と PCI (Prestressed Concrete Institute) との連合委員会で作成された指針<sup>1)</sup>でも、I型、II型、III型の、すなわち普通、中庸熟および早強ポルトランドセメントのいずれを使ってもよいとしている。わが国でも国鉄上越線の線増工事で水上駅付近で第八利根橋梁というポストテンション方式によるプレストレスト コンクリート橋に、中庸熟ポルトランドセメントがはじめて用いられる計画があるが、これは線増工事で工事をそれほど急がないためと思われる。この工事計画に対して国鉄から日本セメント研究所に中庸熟セメントを使った場合のコンクリートの品質について研究を委託され、その結果の一部は現地に応用されることになっている。

このような例はあることはあるが、前述のように型わくの回転使用という経済的な面から、ほとんどが早強セメントを使っている現状である。昭和36年に改訂になった土木学会のプレストレスト コンクリート設計施工

指針のコンクリート材料、セメントの解説の一節に、

「……プレストレスト コンクリートには、従来、早強ポルトランドセメントが用いられることが多かったが、これは早期に高強度を発揮させて、工事工程の短縮をはかるといふ施工上の要求からのものであって、必ずしも、早強ポルトランドセメントを用いる必要はないのである。したがって、これらの設計施工上の要求にもっとも適するセメントを選定することが必要である。」とあって、早強ポルトランドセメントがプレストレスト コンクリートの設計施工上の要求に適していないかのごとき感じを受けるが、これは早強セメントが普通セメントにくらべてその品質がおとっているかのように、世間に一般に誤解されているためであると筆者は考えている。

図-1 普通セメントとベロセメントとの粉末度と収縮との関係



早強ポルトランドセメントについて一番心配されるのは、これを使ったコンクリートの収縮のことであるが、これは中条金兵衛博士の研究<sup>2)</sup>によれば、図-1のようにその収縮は小さく、普通セメントとほとんど変わらない程度で心配なく、わが国のように資源不足の経済状態では、多数の型わくを用意することができないので、今後とも早強ポルトランドセメントは大いに使用されるものと思われる。

亡くなられた日本セメント技術協会の藤井光蔵会長は生前よくプレストレストコンクリート用セメントといったものが出現してよいはずであるといわれた。そのいわれる意味は早期高強度がでて、しかも収縮やクリープの少ないセメントというように考えているが、そういうものが現在では早強ポルトランドセメントではないだろうかと思っている。将来、プレストレストコンクリート用セメントといったものが出現する時期があるかも知れない。

## 2. コンクリートの収縮及びクリープについて

コンクリートの乾燥収縮、弾性変形およびクリープは、プレストレスを減少させるから、プレストレスの減少を最小にするため、これらの乾燥収縮、弾性変形およびクリープの小さいコンクリートを使うようにしなければならないことは当然のことである。

これらの乾燥収縮やクリープに影響するものは、コンクリートの配合や施工方法などいろいろあるが、従来もっとも大きな影響を与えるものは単位水量とか水セメント比であるとされていた。したがって水セメント比の小さいものほど乾燥収縮やクリープは小さいとされ、このことはプレストレストコンクリート用のコンクリートとして圧縮強度の面からも要求される点と一致して好都合であった。

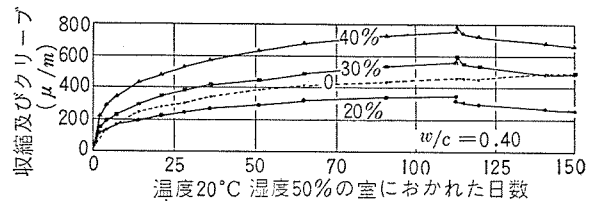
しかし、最近の研究では、乾燥収縮やクリープにもっとも大きな影響を与えるものは、コンクリート中のペースト量であるという貴重なかつ興味ある実験がある<sup>3)</sup>。

これによると水セメント比が0.40で、セメントペースト量33%、材令7日強度が440 kg/cm<sup>2</sup>のコンクリートと、水セメント比が0.70でセメントペースト量27%、材令7日強度が210 kg/cm<sup>2</sup>のコンクリートとの2種類について、7日強度の20、30、40%の応力度を持続させて収縮およびクリープを比較している。供試体は7×7×28 cmの角柱体を用いている。

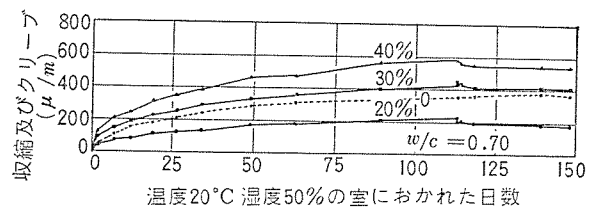
元来ならば従来の観念にしたがって、水セメント比が0.70の方のコンクリートがずっと収縮もクリープも大きいはずであるが、図-2に示すように水セメント比が

図-2  $w/c=0.40$ 、ペースト量33%のコンクリートと、 $w/c=0.70$ 、ペースト量27%のコンクリートとの収縮およびクリープの比較

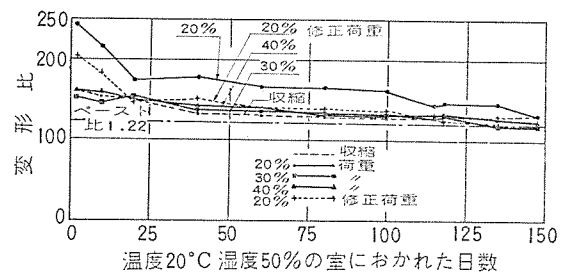
(a)  $w/c=0.40$ 、セメントペースト量33%のコンクリートの収縮およびクリープ



(b)  $w/c=0.70$ 、セメントペースト量27%のコンクリートの収縮およびクリープ



(c)  $w/c=0.40$  と  $w/c=0.70$  のコンクリートの変形比



0.40の方のコンクリートの収縮やクリープが、ずっと大きいという結果がでている。

その収縮の比は、図-2(c)のように材令8~10週で一定となってセメントペースト量の比、 $33/27=1.22$ に大体一致していることも非常に興味ふかいものがある。

これらのことから考えると、せっかく導入したプレストレスの減少を少なくするべく、乾燥収縮やクリープを小さくするためには、ペースト量を少なくすること、すなわち単位セメント量をできるかぎり少なくする必要がある。

このことは特にわが国では、プレストレストコンクリートには必要以上に多量の単位セメント量を使用していることを思い出させるのである。諸外国ではわが国のように500 kg近い単位セメント量の多量のセメントを使っていないようで、この点、技術的にも経済的にも反省する必要がある。

これもプレストレストコンクリート技術導入の初期に、何かの間違いがあってはという老婆心からの行きすぎが、そのまま残っているものと思われるが、早晩改善

しなければならない点であると思う。

### 3. 軽量骨材の使用について

すでに欧米ではプレストレスト コンクリート部材の一部に、人工軽量骨材が使用されており、わが国でもあらゆる面から考えて、早晚使われるようになるものと思われる。

この新しい人工軽量骨材がわが国でも使われだされれば、従来の天然砂利と違ってコンクリートの施工方法でもいろいろ考えを変えなければならない点も多いことと思われる。これらについては筆者も先に本誌に紹介しておいた<sup>4)</sup>。

人工軽量骨材を使ったコンクリートでは弾性係数が小さくなることは否定できない。弾性係数が小さくなることは、たわみが大きくなる点で好ましいことではない。これらのことを考えると、せっかくコンクリートを軽量化しようとするのにいくぶん反するが、細骨材だけは天然の砂を使って粗骨材だけに人工軽量骨材を使えば、強度の点からも弾性係数の点からも、ほとんど天然砂利、天然砂のコンクリートの場合と変わりなく、しかもコンクリート重量は約2割は軽くすることができる。筆者はこの方法が今後よいのではないかと考えている。

また、Koebel 氏の軽量骨材 Haydite を使った実験結果であるが、これによると、普通天然砂利コンクリートのプレストレストの損失は、ポストテンション方式で設計する場合、15% をとっているが、軽量骨材を使ったコンクリートの場合は 25% のプレストレスト損失を見込む必要があるといわれている<sup>5)</sup>。

この結果は、人工軽量骨材 Haydite を使った場合であるから、他の軽量骨材を使った場合には、多少の相違があるかも知れないが、このような傾向はあるものと思われる。これらの点についても今後の研究にまたなければならぬ。

### 4. グラウトについて

ポストテンション方式では一般に PC 鋼材にプレストレストを与えて定着したあとで、シースの中にグラウトを注入する。

このグラウトに用いられるセメントは、新しいセメントでも水でといたとき、セメントの塊のできないようなセメントでなければならぬ。塊ができてそれに気づかずにグラウチングがうまくゆかないで、苦しんだ現場もあると聞いている。これもプレストレスト コンクリート用セメントといった特殊セメントがでるまえに、先にグラウチング用セメントといった粉末度の細かい、塊の

できないような特殊セメントが出現する可能性もあるように思われる。

また、ローマでの第4回国際プレストレスト コンクリート会議での一般報告で<sup>6)</sup>、シースにそう縦方向のひびわれが相当生ずるがその原因として、グラウトの凍結、コンクリートとグラウトとの温度膨張係数の相違、コンクリートの収縮がシース中のグラウトよりもはるかに大きいこと、メタル シース中のグラウトに膨張剤を使用するためであること、などを報告している。

これらの原因については、これよりずっと以前にわが国でも、北海道開発局土木試験所の林正道博士<sup>7)</sup>、その実験から同じような原因をあげておられるのは誠に心強い限りである。

### 5. 疲労問題について

従来、世間一般では、プレストレスト コンクリート部材は断面も小さくて、プレキャスト コンクリートで鉄筋コンクリートよりはるかに優れているが、その疲労に対しては、そのプレストレストを与えている点で普通の鉄筋コンクリートより弱いのではないかという危惧の感をもっていたようである。これについては、わが国でも漸次各研究機関に疲労試験機が備えられるようになったので、今後大いに実験研究されるようになると思うが、ローマでの第4回国際プレストレスト コンクリート会議で、耐久性と疲労に関する研究結果として、プレストレスト コンクリートの方が一般鉄筋 コンクリートより疲労の点では、10% ばかりよい結果を示していると報告されているのは<sup>8)</sup>、結構なことである。

また、AASHO の道路試験によるプレストレスト コンクリート橋の疲労試験結果によれば<sup>9)</sup>、プレテンション方式の方がポストテンション方式より、付着の点で優れていたと報告されている。

プレストレスト コンクリート部材の疲労の点については、今後の実験にまたなければならぬが、それほど心配なものでもないようである。

### 6. 蒸気養生について

コンクリート製品の蒸気養生については、常圧で行なう一般の蒸気養生と高圧で行なう普通オートクレーブ方法といわれている蒸気養生方法とあるが、プレストレスト コンクリート製品は前者の常圧蒸気養生が一般に用いられている。

コンクリートの蒸気養生によるコンクリートの硬化に影響する各種の因子についても、またその硬化現象についても深くは研究調査されていない。これも今後大いに

研究しなければならない大きな問題の一つであろう。

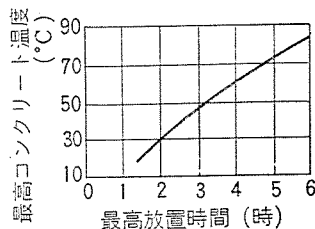
往々にして早く型わくを回転使用したいために、蒸気養生をはじめまでの放置時間を十分におかないためとか、蒸気養生の最高温度を上げすぎたりして、製品にひびわれを生じて問題になる場合をよく耳にすることもあ

る。  
JIS A 5313 スラブ橋用プレストレスト コンクリート橋ゲタ および JIS A 5316 ケタ橋用プレストレスト コンクリート橋ゲタには、この蒸気養生については、

「コンクリートを打ち終ったときは、じゅうぶんな湿気を与えて養生しなければならない。蒸気または温水養生をする場合には、養生温度は 60°C 以下とする。」とだけ規定されている。

この規定には、コンクリートを打ち込んでからの蒸気養生を開始するまでの放置時間については何らふれていないが、JIS の解説にはコンクリート打ち後、ただちに蒸気養生をはじめより 2~6 時間経過してから促進養生を開始する方が、材令 24 時間で普通 15~40% 強度が大きいので、2~4 時間経過してから養生するのがよいとしている。しかし能率の関係から放置時間は守られたいのが普通で、少しでも早く蒸気養生を開始したいというのが一般のようである。

図-3 蒸気養生の放置時間と温度との関係



これについては、図-3 のように、もしコンクリートを練り混ぜて 20°C の部屋においておき、2 時間後に急に 30°C にしても 28 日強度は下らないけれども、もし 85°C にするのならば、放置時間は 6~8 時間を必要とするといったように、蒸気養生温度と最高放置時間とはある関係があることをも発表されている<sup>10)</sup>。

前に述べた Manual for Inspection of Prestressed Concrete では蒸気養生については、放置時間は普通 4 時間が多く規定されており、その温度上昇割合は 1 時間 20°C で、最高温度は 65°C と規定されている。

また、放置時間を長くすれば蒸気養生をする時間を短かくし、両方合わせた全体の時間を 18 時間として実験した結果では<sup>11)</sup>、放置時間 5 時間、温度の上昇割合 1 時間につき 20°C、最高温度 65°C としている。ただ放置時間が少し長い蒸気養生時間が短くなるので燃料の節

約になるといっている。

またよく一般の人にも誤解されていることは、蒸気養生をすれば、そのあとの湿潤養生はする必要がないように思われていることであるが、これは大間違いであって、蒸気養生をしたあとの湿潤養生でコンクリートの品質はいちじるしく改善されるのである。ある実験結果<sup>12)</sup>によると、蒸気養生をしたあと 7 日間霧養生したものは、すりへり抵抗がいちじるしく大きくなったことを報告しており、また水密性も良くなることを報告している。

蒸気養生については、わからない点が多々あるようであって、これも今後大いに研究されなければならない。

### おわりに

以上プレストレスト コンクリート用コンクリートの品質について気づいた二、三の事項について述べてみたが、プレストレスト コンクリート部材も今後ますます一そうその需要を増すことと思われるが、今後の研究と相まって適正な発展を祈って止まない。

### 参考文献

- 1) Manual for Inspection of Prestressed Concrete, PCI Journal, Dec., 1962
- 2) 中条金兵衛：敢てアサノペロセメントを推す，セメント工業 No. 13, 昭和 29 年 9, 11 月号
- 3) Inge Lyse : Shrinkage and Creep of Concrete, ACI Journal, Feb. 1960
- 4) 山田順治：新しい軽量骨材の紹介，プレストレスト コンクリート誌 Vol. 5, No. 1 (昭和 38 年 2 月)
- 5) F.E. Koebel : Lightweight Prestressed Concrete, ACI Journal, March 1954
- 6) Significant Points from the Fourth Congress of Federation International De La Precontrainte at Rome, Italy, PCI Journal, Dec., 1962
- 7) 林 正道：プレストレスト コンクリート用グラウトに関する家験的研究，開発局土木試験所報告第 29 号 (昭和 37 年 3 月)
- 8) 前出文献 6)
- 9) J.W. Fisher : Behavior of AASHO Road Test Prestressed Concrete Bridge Structures, PCI Journal, Feb., 1963
- 10) J.R. Libby : Prestressed Concrete, Design and Construction, The Ronald Press Company, (New York), p. 385, Low pressure steam-curing
- 11) J.A. Hanson : Optimum Steam Curing Procedure in Precasting Plants, ACI Journal, Jan., 1963
- 12) E.C. Higginson : Effect of Steam Curing on the Important Properties of Concrete, ACI Journal, Sept., 1961

(筆者：協会理事 工博 日本セメント研究所主任研究員)

1963.3.29・受付